Wellenausbreitung

Elektromagnetische Wellen breiten sich nicht überall gleich gut und auf dieselbe Art und Weise aus.

Die Frequenzwahl ist daher entscheidend für erfolgreiche Verbindungen. Mit hohen Frequenzen kommt man grundsätzlich weiter als mit tiefen Frequenzen. Bei Nacht ist die
MUF, bedingt durch die dünnere F2-Schicht, geringer.

Die Ionosphäre

Die Ionosphäre ist für HF-Funk von grosser Bedeutung. An ihr werden elektromagnetische Wellen
reflektiert und gedampft, und weltweiter Empfang wird erst möglich. Sie verändert sich mit der
Sonneneinstrahlung und dem elfjährigen Sonnenfleckenzyklus.
Insgesamt besteht die Ionosphäre aus drei Schichten, die D-, E- und F-Schichten genannt werden.
Die D-Schicht dampft, die E-Schicht reflektiert tiefere Frequenzen und die F-Schicht höhere. Bei
Sonneneinstrahlung (d. h. am Tag) werden Moleküle in der Ionosphäre durch Rontgen- und EUV6-
Strahlung ionisiert. Eine weitere Rolle spielt die Sonnenfleckenzahl, die sich 2007 in einem Minimum
befand und alle 11 Jahre ein Maximum erreicht. Je mehr Sonnenflecken vorhanden sind, desto
starker wird die Ionosphäre bei Sonneneinstrahlung ionisiert. Der Einfluss der Sonnenflecken ist nicht
zu vernachlässigen; so sind HF-Frequenzen ab etwa 20 MHz während eines Minimums nicht
verwendbar, in einem Maximum jedoch können weltweite Verbindungen beinahe den ganzen Tag
entstehen.

D-Schicht

Die unterste der ionisierten Schichten existiert nur am Tag und reflektiert keine Signale. Tiefe
Frequenzen unter 5 MHz werden so stark gedämpft, dass das 80-m- und das 160-m-Band nicht mehr
benutzbar ist, auf höhere Frequenzen hat es keine grossen Auswirkungen.

Nach Sonnenuntergang verschwindet die D-Schicht sehr schnell, da die Ionen aufgrund der hohen
Konzentration schnell wieder rekombinieren.
Bei sehr starker Sonnenaktivität kann der sogenannte *Mögel-Dellinger-Effekt* auftreten. Dann ist die
D-Schicht so stark ionisiert, dass das gesamte HF-Band für einige Minuten bis Stunden mehr oder
weniger tot ist.
6 EUV: Extreme ultraviolette Strahlung mit Wellenlangen von 14 bis 80 nm

E-Schicht

Tagsüber dampft die E-Schicht Frequenzen über 5 MHz, da die Ionenkonzentration für eine Reflexion
zu gering ist. Tiefere Frequenzen werden reflektiert, müssen aber zuerst die D-Schicht passieren. Die
Ionisierung befindet sich um die Mittagszeit in einem Maximum und verringert sich danach wieder
langsam.
Nach Sonnenuntergang rekombiniert die E-Schicht innerhalb ungefähr einer Stunde nahezu
vollständig. Innerhalb dieser Stunde kann sie für kurze Verbindungen über 500 km genutzt werden,
da das 80-m- und 160-m-Band dann nicht mehr durch die D-Schicht gesperrt ist.
Im Sommer tritt manchmal *Sporadische E-Schicht (ES)* auf. Es ist nicht klar, wie sie
entsteht. An ihr wird sogar VHF reflektiert, was Überreichweiten und hohe Signalstarken ermöglicht.
HF wird an einer tieferen Schicht als sonst reflektiert und erlaubt so Verbindungen über kürzere
Distanzen von unter 500 km *(Short Skip).*

F-Schicht

Die F-Schicht ist die wichtigste für HF. Sie besteht am Tag aus zwei verschiedenen Schichten: Der F1-
und der F2-Schicht. In der F1-Schicht werden neue Ionen gebildet, die stärkste Ionenkonzentration
befindet sich in der F2-Schicht.
Da sich in der Region der F2-Schicht nur noch wenige Grammoleküle befinden, benötigen die Ionen

sehr lange zur Rekombination. Sie besteht darum auch während der Nacht, die Starke nimmt aber ab
und somit auch die ‣MUF.

Arten der Wellenausbreitung

Bodenwelle

Die Bodenwelle *(Ground wave)* hat bei LF eine Reichweite von über 400 km7, bei HF reicht sie jedoch
auf 80 m knapp 150, auf 10 m nur noch um die 30 Kilometer weit. Sie bewegt sich in der
Troposphäre über dem Boden und wird hauptsachlich vom Boden gedampft. Dabei wirken sich zum
Beispiel dichte Vegetation (Wald), trockener Boden und stark bebaute Gebiete negativ auf die
Reichweite aus, was aber zum Beispiel bei militärischen Einsätzen gewünscht sein kann. Gut leitende
Untergrunde wie Wasser fuhren zu grösseren Reichweiten.

Raumwelle

Mit der Raumwelle *(Sky wave),* die wie die Bodenwelle von jeder HF-Antenne erzeugt wird, ist es
möglich, durch (Mehrfach-)Reflexionen an der Ionosphäre grössere Distanzen zu überbrücken. Pro
Hop (Reflexion auf der Erde) können mehrere hundert Kilometer zurückgelegt werden, sogar bei
Nacht noch über 500. Bei jeder Reflexion wird das Signal gedampft.
Je flacher der Abstrahlwinkel der Antenne ist, desto höhere Frequenzen kann man verwenden und
desto weiter kommt man mit einem Hop. Umgekehrt sollte fur eine Nahverbindung eine tiefe
Frequenz und ein steiler Abstrahlwinkel über 30° gewählt werden.
Die Raumwelle wird ab VHF zur Space wave.

Space wave

Die Space wave tritt ab VHF aufwärts auf. Sie bewegt sich quasi-optisch, also ungefähr bis zum
Horizont, da sie kaum gebeugt wird und dann im All verloren geht. Allerdings wird sie zum Beispiel
an Bergen reflektiert und von Wäldern und Häusern gedampft, wodurch ihre Reichweite um einiges

eingeschränkt wird.

QRN – Störungen in der Atmosphäre

Vor allem unterhalb des 20-m-Bandes können atmosphärische Störungen eine solche Stärke
erreichen, dass Gegenstationen trotz hoher Signalstärke nur noch schlecht hörbar sind. Im Sommer
nimmt das QRN aufgrund häufigerer Blitzentladungen zu.

Blitze

Während der Entladung eines Blitzes entsteht ein elektromagnetischer Puls, da sich während einer
kurzen Zeit extreme Spannungsänderungen vollziehen und gewaltige Ströme fliessen. Solche
7 Bei gebirgigem Gelände etwa die Hälfte, bei Ozeanen u. a. mehr als das Zweifache.

Störungen lassen sich in sehr weiter Distanz noch messen. Mit speziellen Systemen ist es sogar
möglich, die Blitze zu orten. So können ungefähr 95 % der Blitze festgehalten werden.

Die von Blitzen erzeugten Signale werden *Spherics, Tweeks* oder *Whistler* genannt, je nachdem, wie
weit sie «gereist» sind. Spherics erzeugen im Wasserfalldiagramm nur Striche, Tweeks leicht
gebogene Striche und Whistler hinterlassen Kurven, da Frequenzen höherer Wellenlange schneller
sind und so früher ankommen. Tweeks und Whistler sind als Pfeifton hörbar, dessen Frequenz sich
ändert. Bei Tweeks dauert dies ein paar hundertstel Sekunden, Whistler wandern entlang des
Erdmagnetfeldes und sind aufgrund der noch grösseren zurückgelegten Distanz langer hörbar.
Sferics sind als kurzes Knacken hörbar.
Entladungen, die sich in der Nähe ereignen, erzeugen Störungen über das ganze Spektrum, hörbar in
den unteren Bändern als starkes Knacken, in den oberen als kurz stark erhöhtes Rauschen.

QRM – Von Menschen verursachte Störungen

QRM kann viele Ursachen haben. Auf Bändern mit hohem Funkverkehr können es ganz einfach
andere Stationen sein, die so weit entfernt sind, dass sie nicht mehr verstanden, aber dennoch
empfangen werden können und so den eigenen Funkverkehr stören.
Eine andere häufige Störungsursache sind elektrische Geräte wie Computer, die in der Nähe laufen.